



MALOMCSISZOLÁSOS MÓDSZER HATÉKONYSÁGÁNAK VIZSGÁLATA ÖNTÖTT FÉM ALKATRÉSZEK ESETÉN

AN EXAMINATION OF THE EFFECTIVENESS OF TUMBLING ON SAND-CAST PARTS

Rappert Balázs,¹ Egyed-Faluvégi Erzsébet²

¹ Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, gépészmérnöki szak, IV. év, Marosvásárhely, Románia, rappertbalazs@gmail.com

² Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia, faluvegi.erzsebet@gmail.com

Abstract

The purpose of this study is to examine the effectiveness of the tumbling method on sand-cast metal parts. The first phase of the research was to design and construct a laboratory-scale tumbling mill, make samples for the measuring instruments available and to construct a coal-powered furnace that can be used in the making of the metal samples. After the design and construction of the necessary hardware, we conducted the experiment, took the necessary measurements and processed our data: this consisted of measuring the surface roughness of the metal samples before, during and after a complete tumbling cycle, then processing the resulting data. The experiment allows us to determine the optimal tumbling parameters such as the ideal tumbling medial size, the optimal speed of revolution of the tumbling drum and the smallest surface roughness achievable via the tumbling method. The experiment also allows us to find a correlation between the tumbling time and the change in surface roughness, which makes it possible to determine the optimal time frame in which the method is the most effective.

Keywords: surface roughness, tumbling mill, sand-cast parts, tumbling, sand casting, tumbling media.

Összefoglalás

A dolgozat célja a malmozási csiszoló módszer hatékonyságának vizsgálata öntött alkatrészek esetén. A kutatási kísérlet elvégzésére egy saját tervezésű csiszológymalmot és öntött próbatesteket használunk, így a kutatási projekt első fázisa a malom, a fém próbatestek, illetve a homoköntéssel készült próbatestek öntéséhez szükséges szénfűtéses kohó kivitelezése. A saját tervezésű berendezések kivitelezését a mérési és adatfeldolgozási fázis követi, amelyben mérjük a próbatestek felületi érdességét malmozás előtt és után, majd a kapott eredményeket feldolgozzuk. A sikeres kutatási kísérlet elvégzése lehetővé teszi, hogy meghatározzuk az optimális malmozási paramétereket, mint az őrlőanyag szemcsemérete, a malomdob optimális fordulatszáma és a legkisebb, praktikusan elérhető felületi érdesség. A kísérlet továbbá lehetőséget ad az őrlési idő és a felületi érdesség változása közötti összefüggés megállapítására, aminek segítségével meghatározhatjuk azt az időkeretet, amelyen belül a módszerrel a legnagyobb változást tudjuk elérni a munkadarab felületi érdességében.

Kulcsszavak: felületi érdesség, csiszológymalom, öntött alkatrész, csiszolás, homoköntés, csiszolóanyag.

1. Bevezetés

1.1. Felületi érdesség

A tőrésztan a tőrészhatárok osztályozásával, meghatározásával és tanulmányozásával foglalkozó

tudományág. A tőrések többfélék lehetnek: alak- és helyzettőrések, más néven geometriai tőrések (párhuzamosság, körköröség, merőlegesség) vagy mérettőrések. Az alkatrész emellett más előírásoknak is meg kell, hogy feleljen: szerkezeti

(keménység, rugalmasság, kristályrács sűrűsége/szabályossága), optikai (átlátszóság, fényvisszaverő képesség) stb. A felületi érdesség is ide tartozik.

A Machinery's Handbook 27. kiadása így határozza meg a felületi érdességet: „Az érdesség a felület kisméretű szabálytalanságait jelenti, amelyek általában az előállítási folyamat következtében jönnek létre. Ezek lehetnek keresztirányú eltolásnyomok vagy más szabálytalanságok a mért szakasz mentén.” [1] A felületi érdességtűrés meghatározza, hogy mekkora lehet egy munkadarab felületén mért felületi érdesség (vagy milyen intervallumban kell elhelyezkednie ennek az értéknek).

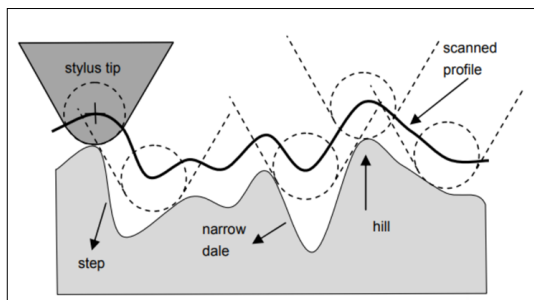
Az egyik legelterjedtebb és leggyakrabban alkalmazott mutató az átlagos felületi érdességi mutató, melyet az ISO 2190-2:2021 szabvány értelmez. E szerint az átlagos felületi érdesség értéke egy folytonos profilon mért csúcsok és völgyek ordinátáinak számtani középátlama.

1.2. A felületi érdesség mérése

Ahhoz, hogy meg tudjuk állapítani, hogy egy adott alkatrész érdessége megfelel-e az előírt feltételeknek, mérési módszereket kell használnunk. Ezek a mérési módszerek lehetnek érintés általi és érintés nélküli módszerek is. [1]

A leggyakoribbak az érintés általi mérőműszerek, hiszen a relatíve egyszerű felépítésüknek köszönhetően széleskörűen elérhetők, megbízhatók és könnyebben használhatók, mint a pontosabb, de komplexebb optikai műszerek. A XX. század elején a felületek topológiáját főleg szemmel vagy körömmel ellenőrizték, ám mivel az emberi szem felbontása nagyjából 100 µm nagyságú, ezért pontosabb mérőműszerek kifejlesztésére volt szükség. [2]

Az első, érintés által működő hegyprofilométer („contact type stylus profilometer”, a továbbiakban „SP”) G. Schmaltz találta fel 1929-ben. [9] A hordozható SP-k működési elvének lényege, hogy egy gyémánt- vagy rubintűt húznak végig a felületen egy elektromos motor által meghajtott mechanizmus segítségével. Az így kapott profilgörbe (analóg berendezések esetén) vagy pontfelhő (digitális műszerek esetén) pontossága általában 0,1 és 4 µm között mozog (Ra). A tű hegyének a sugara általában 5 µm, és a mért szakasz hossza 5–8 mm közt mozog. [2] Értelemszerűen a tű hegyének a sugara korlátozza a mérés pontosságát, hisz a sugárnál szűkebb árkokat nem tudja érzékelni a műszer (1. ábra).



1. ábra. A tűhegy által leírt profil [1]

1.3. A csiszolómalmok működési elve

A csiszolómalom működése egyszerű, három fő elemből áll: a forgódob, az őrlő-csiszoló anyag és a dobot forgató hajtás.

A dob általában egy hengeres vagy sokszög keresztmetszetű cső, amely a malom felépítésétől és méretétől függően lehet zárt, egyik oldalán nyitott vagy mindkét oldalán nyitott. Az őrlő-csiszoló anyag a dobban található, és csiszolási felhasználásban általában alacsony szemcseméretű, kemény anyag (homok, kerámiaszemcsék, kemény kompozitok vagy fémek). Porok őrléséhez nagyobb fém- vagy kerámiatesteket használnak. A csiszolóhatás abból adódik, hogy a szemcsék és a munkadarab felülete közti folyamatos ütközések és súrlódás következtében a munkadarabból abrazív módon apró darabok válnak le.

Bizonyított, hogy az őrlőszemcsék formája befolyásolja az őrlőanyag viselkedését és hatékonyságát, mind porfinomítás, mind felületi megmunkálás esetén. Shi (2004) kutatási eredményei azt mutatják, hogy a „cylpeb” (kúpos henger lekerekített végekkel) formájú őrlőtestek hatékonyabban, mint az ugyanolyan tömegű gömb formájú őrlőtestek, hisz nagyobb felülettel rendelkeznek. [3] Nanda P. és társai háromszög alapú hasáb és gúla alakú őrlőtesteket használtak annak érdekében, hogy a munkadarab minden felülete nagyobb eséllyel érintkezzen az őrlőtestekkel. [4, 5] A gömb és henger vagy ezekből az idomokból származtatott formájú őrlőtestek a görbe felületük miatt kisebb eséllyel érintkeznek a munkadarab belső sarkaival, míg a gúlák csúcsa és a hasábok élei sokkal nagyobb eséllyel érintkeznek.

2. Módszertan

2.1. A mérőműszer és a méréshez használt próbatestek

A kutatás célja a malomcsiszolás hatékonyságának vizsgálatára alkalmas rendszer építése és

az eljárás által elérhető felületi érdesség mérése. A kutatás első fázisában egy kis méretű csiszoló-malmot terveztünk és valósítottunk meg, továbbá az Insize ISR-C002-típusú érdességmérőhöz egy befogólapot és próbatesteket is készítettünk. A befogólap célja, hogy meggátolja az érdességmérő elmozdulását a befogott próbatesthez képest, ezáltal biztosítva, hogy minden mérés ugyanazon egyenes mentén történik. Mivel az öntött felületek felületi érdessége nemcsak magas, hanem egyenetlen is, ez a lépés elengedhetetlen volt, hogy vizsgálni tudjuk a profilgörbe változását a malmozási ciklusok között, hiszen a mért egyenestől pár milliméternyi eltérés esetén már drasztikusan változhat a munkadarab érdességi profilgörbéje. Mivel az érdességmérő rubintűjének a sugara nagyon kicsi, és a rendelkezésünkre álló technológiával nem tudunk akkora pontosságot elérni, minden mérést többször végzünk el, és ezek számtani átlagával dolgozunk.

A próbatesteket homokformás öntéssel készítettük el, finom szemcséjű öntőhomokot használva. A próbatestek modellje 3D-nyomtatással készült, egy Creality K1C műanyag szálal nyomtató használatával, a műszaki rajzuk a 2. ábrán látható:

A próbatest CAD-modelljéből egy kilencágú öntőfát generáltunk, ami lehetővé teszi több próbatest egyszerre történő kiöntését. Két fémből gyártottunk próbatesteket, ólomból és alumíniumból. Mindkét fémből hat próbatestet öntöttünk.

2.2. A malom tervezése és kivitelezése

A kísérlet második fázisa a csiszoláshoz szükséges malom elkészítése volt. A malom tervezésénél több szempontot is figyelembe kellett vennünk: kis méret, alacsony költség, megbízható működés

és könnyű szerelhetőség. A malom szerkezetét a 3. ábra szemlélteti.

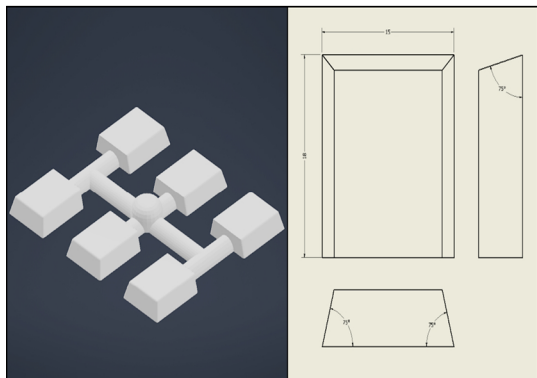
A malom kinetikai lánc a dörzshajtással forgatott malomdob meghajtásáért felel. Ahhoz, hogy meghatározzuk a szíjtárcsák átmérőjét, ki kellett számolnunk a dob optimális fordulatszámát.

A *Ball Milling Theory and Practice for the Amateur Pyrotechnician* című könyvében Sponenburgh L. E. megfogalmazza, hogy miért fontos az optimális fordulatszám meghatározása. Egy bizonyos fordulatszám alatt a dob belső fala és az azzal érintkező őrlőtestek között nem elég nagy a súrlódási erő ahhoz, hogy a forgó dob fal „magával ragadja” az őrlőtesteket, így az őrlőanyag a dob alján csúszik, miközben a dob körülötte forog, az őrlőtestek közti relatív elmozdulás értéke pedig nulla. Az ún. kritikus fordulatszám meghaladásával az őrlőtestek akkora sebességgel mozognak a dob fala mentén, hogy a rajtuk keletkező centrifugális tehetetlenségi erő nekinyomja őket a dob falának. Így az őrlőanyag ismét homogén anyagként viselkedik, tehát a szemcsék közt nincs relatív elmozdulás. A kritikus sebesség az a legkisebb fordulatszám, amely fölött ez a jelenség fellép. [6]

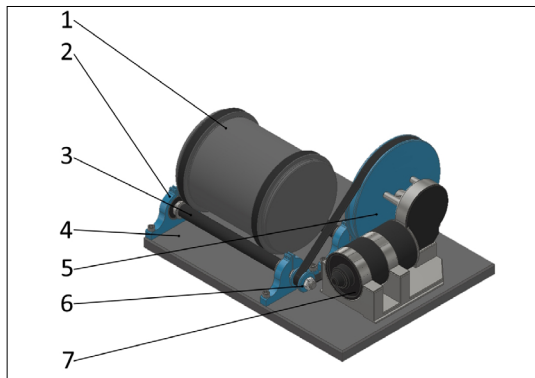
Ismerve, hogy a dob belső átmérője $D_{\text{belső}} = 110 \text{ mm}$, és hogy az őrlőtestek átmérője 3–5 mm közt változik. Ennek ismeretében meghatározzuk a malomdob kritikus fordulatszámát [6] az alábbi képlet segítségével,

$$N_{\text{krit}} \left[\frac{\text{ford}}{\text{perc}} \right] = \frac{423}{\sqrt{D_{\text{Dob belső}} - d_{\text{örlőtest}}}} = \frac{423}{\sqrt{110 - 4}} \\ = 41,08 \frac{\text{ford}}{\text{perc}}$$

ahol a $d_{\text{örlőtest}}$ -érték az őrlőtestek átlagátmérőjét mutatja (gömb formájú őrlőtesteket feltételez-



2. ábra. A próbatest CAD-modellje és műszaki rajza



3. ábra. A malom CAD-modellje (1 – dob; 2 – csapágyazás; 3 – hajtott görgő; 4 – alaplap; 5 – $\varnothing D90 \text{ mm}$ szíjtárcsa; 6 – $\varnothing D16 \text{ mm}$ szíjtárcsa; 7 – motor)

ve). Az optimális fordulatszám a kritikus fordulatszám 80%-a [6], vagyis ebben az esetben 32,86 ford./perc. Ezt a fordulatszámot a szíjtárcsák átmérőinek arányával alakítottuk ki.

2.3. Kísérleti paraméterek

A kísérlet célja meghatározni a malmozási idő hatását a felületi érdességre. Feltételeztük, hogy a malmozás során mindenképp elérünk egy bizonyos változást a felületi érdességen, és vizsgáltuk, hogy ez a változás milyen mértékben következik be adott idő alatt.

Csiszolóanyagként 3–5 mm szemcseméretű bentonit-agyag szemcséket használtunk. Ahhoz, hogy a méréseknek legyen egy viszonyítási alapjuk, ismernünk kellett a próbatestek kezdeti felületi érdességét nyers, megmunkálatlan öntvény formájában (Ra-önt). Minden próbatesten három mérést végeztünk, majd ezeknek az értékeit átlagoltuk. A mérések számának növelésével növelhető az eredmény pontossága, ám mivel puhafém próbatestekkel dolgozunk, és az érdességmérő rubintűje kemény anyag, túl sok mérés esetén fennáll a veszélye, hogy a túl elsímítja a felületen található mikroasperitásokat.

Az egy munkadarabra eső csiszolási idő 4,5 óra. A négy és félórás csiszolási idő alatt a próbatesteken egyenkénti időintervallumokban végeztünk méréseket, hogy folyamatosan nyomon tudjuk követni a felületi érdesség változását, így a csiszolási időt ciklusokra osztottuk fel. Harmáncperces ciklusidőt szabtuk meg: ez elegendő ahhoz, hogy mérhető változás lépjen fel a felületi érdességben, és 10 teljes méréssel megfelelő méretű adathalmazzal eredményez.

A próbatesteket 1-től 6-ig megszámoztuk, hogy nyomon tudjuk követni, hogyan változik a felületi érdességük.

3. Mérési eredmények

Az adatok feldolgozásához Microsoft Excel környezetet használtunk, és a számításokat (pl.: számtani átlag) az Excel beépített függvényei segítségével számítottuk ki.

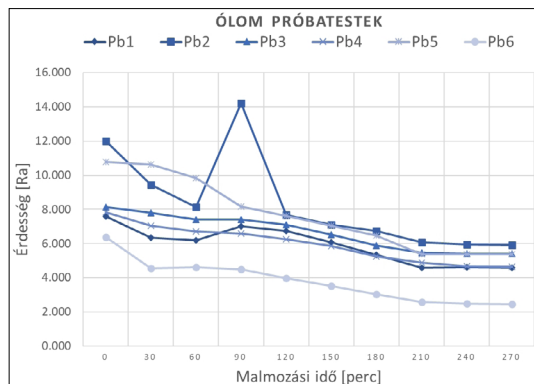
A próbatesteket fémtípusuknak és számuknak megfelelően jelöltük, így az ólom próbatestek Pb1, Pb2, ..., Pb6 jelölést kaptak, az alumínium próbatestek pedig Alu1, Alu2, ..., Alu6 jelölést. A továbbiakban a próbatestekre a jelölésükkel utalunk. Minden méréskor rögzítettük az érdességmérőt és a munkadarabot is a befogókészülékben, hogy a mérések ugyanazon a profil mentén történjenek, ám a rendszer pontossága és az érdességmé-

rő tűhegyének pontossága közti különbség miatt így is kaptunk kiugró mérési eredményeket.

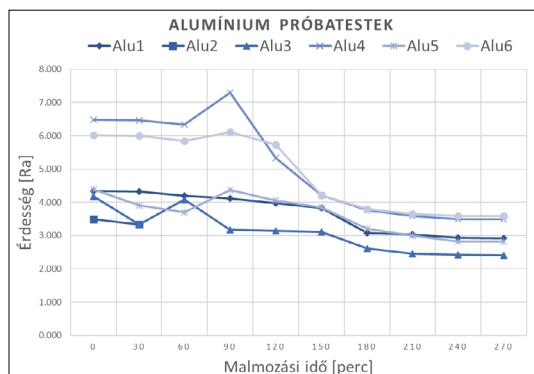
Az átlagos kezdeti felületi érdesség $Ra(Pb_atlag1) = 8,785 \mu m$ volt az ólom próbatestek esetében, és $Ra(Alu_atlag1) = 4,816 \mu m$ az alumínium próbatestek esetében. Ezek az értékek az összes, egyazon fémből készült próbatest érdességeinek az átlagát mutatja, ugyanis az egyéni próbatestek érdessége változó (pl.: $Ra(Pb2) = 12,003 \mu m$, $Ra(Pb6) = 6,37 \mu m$; $Ra(Alu4) = 6,482 \mu m$ és $Ra(Alu2) = 3,49 \mu m$).

Az eredmények ábrázolásához koordináta pontokkal ellátott vonalgrafikonokat használtunk, és összeállítottuk mind az átlagos érdességváltozást, mind a próbatestenkénti érdességváltozás grafikonjait. A próbatestekre lebontott eredményeket ábrázoló grafikonokat a 4. és 5. ábrák szemléltetik.

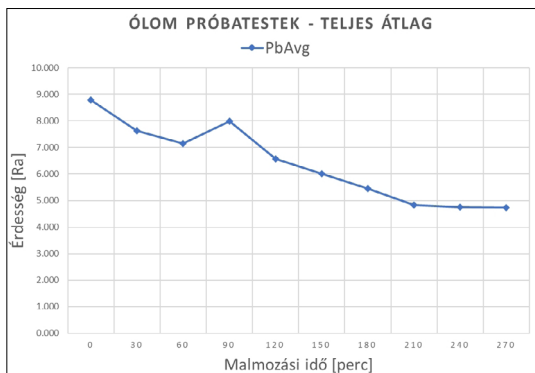
Észrevesszük, hogy a Pb2 és az Alu4 próbatestek esetében is a 90. perckor vett mérés esetében egy meredek eltérés jelentkezik a görbék formájához képest. Feltételezzük, hogy ez mérési vagy befogá-



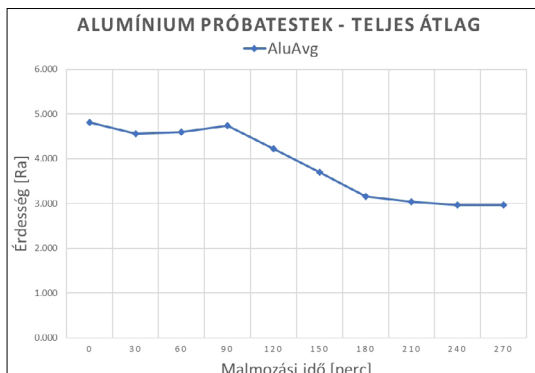
4. ábra. Ólom próbatestek érdességének változása



5. ábra. Alumínium próbatestek érdességének változása



6. ábra. Ólom próbatestek érdességének változása



7. ábra. Alumínium próbatestek érdességének változása

si hibából származik, ugyanis, ha a munkadarab felülete sérült volna csiszolás vagy mozgatás közben, azt a többi mérés is tükrözné.

Mivel a kutatás célja nem a próbatestek, hanem a módszer hatékonyságának vizsgálata, a következtetések levonásához célszerűbb az összetett érdességváltozási görbék tanulmányozása, amely átlagolja az összes, ugyanazon fémről készült próbatest változásait. Ezt a 6. és 7. ábrák szemléltetik.

Az elért végső felületi érdesség az ólom próbatesteken $Ra(Pb_{végső}) = 4,725 \mu m$, míg az alumínium próbatesteken $Ra(Alu_{végső}) = 2,962 \mu m$. A kezdeti és végső érdességek különbségeiből meg tudjuk határozni a teljes átlagos érdességváltozást, a ΔRa értéket, ami az ólom próbatestek esetében $4,059 \mu m$, és az alumínium próbatestek esetében $1,853 \mu m$.

4. Következtetések

A görbék megfigyelésekor észrevevesszük, hogy a meredekségük nemcsak hasonló (anyagtól és kezdeti felületi érdességtől függetlenül), de mindkét görbe meredeksége csökken egy bizonyos pont után, majd az utolsó értékek körül szinte teljesen kilaposodik.

Ez arra enged következtetni, hogy a csiszolási módszer csak egy bizonyos felületi érdességváltozás (ΔRa) elérésére alkalmas, egy adott ponton túl nem lehet jelentős változást elérni. Ez azzal magyarázható, hogy a kezdeti fázisban az érdességi profilcsúcsok hegyesek, így az elnyírásukhoz sokkal kisebb erőre van szükség, mint a későbbi fázisokban, amikor a hegyes csúcsok már lecsiszolódtak. Egy adott ponton túl a csiszolóanyag nem tud akkora erővel hatni a csúcsokra, hogy jelentős anyagmennyiséget távolítson el, így a felületi érdesség csökkenése lelassul vagy akár stagnál.

Ennek a jelenségnek a paraméterei több tényezőtől is függenek, mint a munkadarab és a csiszolóanyag keménységének különbsége és a csiszolóanyag szemcsemérete (a nagy szemcsék nem tudnak behatolni a mély és szűk árkokba).

Emellett az is észrevehető, hogy a bekövetkező érdességváltozás (ugyanazon csiszolóanyag használatával) összefüggésben van a munkadarab anyagának keménységével: a puhább ólom próbatesteken sokkal nagyobb változást ($\Delta Ra(Pb) = 4,059 \mu m$) értünk el, mint a keményebb alumínium próbatesteken ($\Delta Ra(Alu) = 1,853 \mu m$).

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Erik O., Franklin D., Holbrook L., Henry H. R.: *Machinery Handbook*. 27. kiad., Industrial Press Inc, New York, 2004.
- [2] Demircioglu P.: *Topological Evaluation of Surfaces in Relation to Surface Finish*. Adnan Menderes University, Aydın, Turkey, 2017.
- [3] Shi F.: *Comparison of Grinding Media—Cylpebs Versus Balls*, Minerals Engineering, 17. 2004.
- [4] Alban J. L., Chester A. R.: *The History of Grinding*. Society of Mining, Metallurgy and Exploration, Colorado, 2009.
- [5] Nanda P., Hassim, M. H., Idris M. H., Muhammad, H. J., Arafat, A.: *Effect of Mechanical Tumbling Parameters on Surface Roughness and Edge Radius of Medical Grade Cobalt Chromium Alloy*. International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology, 9/1. 2019.
- [6] Sponenburgh L. E.: *Ball Milling Theory and Practice for the Amateur Pyrotechnician*. Bridge City Enterprises, 1995;
- [7] ISO 21920-2:2021 Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface Texture: Profile — Part 2: Terms, Definitions and Surface Texture Parameters, 2021;